

群馬高専における物理実験の経緯と現状

五十嵐 睦 夫* 平 靖 之**

(2007年11月30日受理)

1. はじめに

高専が独立法人化して4年目を迎えた。社会の変化が激しくなり、独立法人化した高専も例外ではない。職員定数削減は待ったなしの状況にあり、教育体制の見直しは必至であろう。一方、本稿の著者は群馬高専に赴任して15年目（五十嵐）および5年目（平）となる。着任以来、物理実験の実施に対して深いかかわりをしてきた。昔日の記憶も曖昧になってきており、教育体制の変化の予感がある中で今後の教育体制を検討するための資料を整えておく必要を強く感じている。その一環として、この学校がどのような歩みをしてきたかをこの時点で記しておくことも必要なことであると考えた。ここに、現在も在籍中の先輩教員等から伝え聞いたことも含め、群馬高専における物理実験の状況を述べておく。ただ、記述の大半は直接知りえたこの20年来に対するものが主となっていることを断っておく。内容は散漫なものになってしまうが、工学基礎教育としての役割を念頭に置き、他の関連する教育体制との関係を含めながら鳥瞰を与えることを主眼とする。

2. 学校体制の変遷と物理実験の実施状況

学科1・2年次対象の物理という科目について実施内容の状況の特徴によって分けると、便宜的に5期へ分割して記述することが適切であると考えた。以下、学校体制の変遷と、それに伴う物理実験の状況変化を記述する。

(1) 第1期〔昭和37年（1962年）～昭和62年（1987年）ころ〕

詳しい資料は残っていないため、高専創設（昭和37年）当時どのような物理実験を行っていたかは不明である。ただ、現存する実験機材を見ると、力学に重点を置いた実験が行われていたらしいことがうかがえる。学校創設当時は3学科構成であったものが、昭和41年には工業化学科、昭和62年には電子情報工学科といった形で増設がなされ、それを後追いつける形で運営がなされていたと思われる。

(2) 第2期〔昭和63年（1988年）ころ～平成7年（1995年）〕

この時期、物理という科目においては2年次後期の

1.5単位分が週1回にまとめられ、授業1回あたり3校時分に当たる2時間半弱（135分）を割いて物理実験を行っていた。その際、2クラスの授業時間を同期させた上で3分割し、3人の教員で担当していた。場所には物理実験室および応用物理実験室、そして周辺の廊下までも使用していた。そして、実験以外の期間には通常授業であって定期試験も実施していたが、実験の期間については実習科目として位置づけて定期試験を行わなかった。実験関係の授業回数は全14回だったことになる。平成3年までは5単位であった科目全単位数は平成4年よりほとんどの学科で全4単位（電子情報工学科のみ5単位のまま）となったが、高校課程に準拠した物理の授業を検定教科書により実施するという態勢は継続していた。平成4年度以降の時間配分としては、1年次後期1単位、2年次前期1.5単位、同後期1.5単位であった（電子情報工学科のみ1年次前期にも1単位実施）。

実験1テーマあたりには2週が割り振られ、全7テーマが実施されていた。授業時間は必ず午後の最後に配置され、各テーマ1週目に実験を終了させることを基本としていた。すなわち、各テーマ1週目の時間内に実験が終わらない場合には、居残り等の措置により必要なデータはすべて取ってもらうというスタイルである。これは、大学等の学生実験スタイルによくあるものであり、本校の専門実験においてもしばしば見られる。そして、各テーマ第2週目は口頭試問を行っていた。参考としたのは群馬大学の方式だったとのことである。この口頭試問という形式は時間を要する方式であり、教科書を用いた学習に割く時間が相対的に少なくなる原因ともなっていた。この時代は大学編入などの進学率はあまり高くなく、教育における物理の比重は相対的に低かったためにそのような運用が許容されたのであろう。口頭試問と言うコンセプト自体は悪くないし積極的に評価できる面もある。しかし、教員ひとりあたり1日に30人弱をこなさなくてはならず、1名あたりにかけられる時間は5分もなかった。質問事項も自ずと限られて来ざるを得ないため、ある程度の理解がある学生にはあまり意味のある試問をすることが困難であった。その上、試問以外のほとんどの時間は学生が空き時間になってしまい、時間の有効利用も課題となっていた。

この時期の実験テーマ一覧を表1に示す。以下、順にあらましを述べる。

*自然科学系・物理

**物質工学科

表1 平成元年～平成7年当時の物理実験実施テーマ一覧

回	テーマ名	内 容
実験0	データの整理法	正規分布、誤差の処理
実験1	台車の運動	力学的エネルギー保存および運動量保存の確認
実験2	回転運動の力学	遠心力と回転周期の関係確認
実験3	気柱の共鳴	気柱振動による定在波の確認
実験4	ジュール熱	電流による仕事の測定
実験5	磁束密度	磁気天秤による磁束密度の測定
実験6	光電効果	光電管による光電流の確認、プランク定数の測定

(i) データの整理法

紙テープをはさみにより毎回目分量で切断し、一定の長さと思われる長さにする。その後、定規により各断片の長さを計測してヒストグラムを作成するというものである。断片数は100個に及び、操作としては多数回の同じ操作であるという極めて単純作業的なものではあったが、ヒストグラムと平均、分散の意味を体感することができるテーマでもあった。学生の理解度向上に対してそれなりの寄与はあったと考えている。現在は時間的な制約もあり、実施しないテーマとなっている。

(ii) 台車の運動

力学的エネルギー保存および運動量保存の両法則を確認することを目的とし、力学台車に紙テープをつけて加減速の様子を計測するという、学生実験の古典中の古典とでもいうべき内容である。新寄な要素は何もないが、教科書学習で修得した力学の知識を総動員してデータ解析をすることが必要となり、得られた実験データを活用して更に上級な要素の学習も可能である優れたテーマである。この点は現在においても変わるものではなく、平成19年度のテーマにも残っている。

(iii) 回転運動の力学

オリジナル性が高いテーマである。V字型パイプ内にビー玉を入れて対称軸で回転させ、遠心力によってビー玉を飛び出させる。その瞬間を見定めることによって、回転数と照らし合わせて遠心力を評価するというものである。単純な装置でありながら、その働きを理解するのは簡単ではない。遠心力の性質にまで踏み込む必要があり、優れた実験だという印象を持っている。ただ、台車の加速ほどには直感的でない運動であることも手伝ってか、原理的理解は難しいものであったようである。また、回転機構の制御にやや職人技的なところがあり、データの再現性が低いのが難点であった。現在では活用されなくなっているテーマである。

(iv) 気柱の共鳴

気柱共鳴管を使い、共鳴点を探すというこれも典型

的なテーマである。ガラス管を使うという点が破損等の面において不安要素として存在するが、解消すべき課題かもしれないと認識されつつ現在まで続いている。音源には音叉でなく低周波発振器を用いるが、それにつなぐスピーカーの劣化が激しいという問題もあった。すなわち、手で支えて気柱上にかざすこととしていたため、時間が経過して学生が疲れてくると知らず知らずにコーン紙を管口へと押し付けてしまい、壊してしまうということがたびたびあったからである。この点について平成19年度には改善を行い、スピーカーを手で押さえていなくても大丈夫ように固定具を整備した。この措置によってスピーカーの長寿命化を図ることができたと考えている。

(v) ジュール熱

電流のなす仕事の熱当量を計測するテーマである。銅製の比熱測定器を用いて行う。後述するように、このテーマは現在実施されていない。ただし、機材は在庫している。

(vi) 磁束密度

電流を流したソレノイド内に電流天秤を設け、それにかかる電磁力の荷重を計測して磁束密度を見積もるのである。ただ、電流天秤の電流接点に問題があり、長年の検討課題となっていた。すなわち、天秤の支点の接触抵抗が高いところに発熱が集中し、かなりの頻度でハンダ付けが取れてしまうのである。この問題は、細線を付加して電流経路を天秤の軸と別系統にすることにより解消された。そして、平成19年度現在の実験テーマとしても活用されている。

(vii) 光電効果

逆バイアスをかけた光電管を用いて光阻止電位を計測し、原子物理に必ず顔を出すプランク定数を見積もるものである。これも検定教科書に載っているほど典型的なものではあるが、2年次段階ではやや高度な実験内容であった。そのため、1回の実験時間では終了しないことも多く、時間の確保が問題となっていた。平成19年度は光電流の確認のみを行う実施計画となっていたところである。

(3) 第3期〔平成8年度(1996年)～平成13年度(2001年)〕

平成8年度に物理関係の授業内容が一部見直され、3年次の応用物理Ⅰの前期まで含めて高校検定教科書を用いることとなった。これは、編入等により大学進学する学生が増えたことを考慮し、基礎科目として高校課程の物理については教科書の主要部分のなるべく多くをひととおり修得してもらうという考えに基づいていた。このような措置により、高校課程の物理の学習単位数は応用物理Ⅰの分まで含めて5単位(電子情報工学科のみ6単位)となり、多少の余裕ができた。その際、それまでは1年次後期から開始していた物理を1年前期、すなわち入学当初から履修し始めることとし、4年次に至るまで必ず週1回は物理を学習することでより長期的な学力の定着を図ろうということであった。ただ、時間が増えてくると欲も出てくるもので、教科書による板書を用いた学習に重点を置くべきとの意見が多く、実験についてはそれまでのようにまとまった時間を充当しないこととなった。そのため、クラスごとに適宜実験を織り交ぜながら授業を展開していくことを申し合わせ、クラスによるばらつきを許容しつつ運営していた。このような状況は、平成19年度の1・2年次混合クラス完全実施までしばらく続いた。

そのような運用になってくると、実験時の時間の使い方も自ずと変わってくる。授業時間の最後に設定されているならば時間延長という形で不足分を補うということもできるが、午後の最終時間以外に割り振られた授業の場合には延長することも不能である。後日に再実験という選択肢がないわけではないが、他クラスでの実験実施をしていたり別の実験テーマの機材へと実験室内の配置が入れ替わってしまっていたりした場合には、実質上困難である。そのような事情があり、この時期以降の実験については必須課題と発展課題に課題を分割し、必須課題はほとんど全員が終わらせることができる程度に簡略化した内容として編成しなおした。手際が良かったり理解が十分であったりした学生については、あまった時間で発展課題に取り組んでもらうこととして今日に至っている。

なお、この時期には、金属球の衝突による運動量保存則の実験、単振り子やバネ振り子といった小機材を用いた実験テーマへの対応が図られた。また、導電ガラスを用いた等電位面の観察用の機材が整備された。電流の作る磁場の向きを検証するためのケーブルや方位磁針が整備されたのもこの時代である。以上はいずれも小規模な機器ながら、多人数が同時にこなせる実験ということで整備されたものである。40人以上の学生を教員ひとりで同時にこなす必要が出てきたことが大きな動機であった。40人を超える規模になると、教員がひとりで個々の学生グループの実行状況を把握することは困難になり、

学生が個々人で作業的に取り組むような内容にならざるを得ない。多少複雑な実験操作が必要な装置を使い、かつ、目を行き届かせるためには少人数化が必要だと実感された。少なくともクラスを半分に分割し、同時に対応する人数を20人以下とするような措置が必要である。

(4) 第4期(平成14年度(2002年)～平成18年度(2006年))

この時期の物理実験の実施状況は以前と同様であり、大幅な変更があったわけではない。しかし、教育研究委員会におけるセメスター制の推進に伴って授業の学年配当には大きな変化があった。すなわち従来の「物理」という科目は2年生のみでの実施ということになり、前期は「物理Ⅰ」の2単位、後期は「物理Ⅱ」の2単位(電子情報工学科のみ3単位)という計2科目に分割された。なお、平成14年度は移行措置として部分的な実施だったが、平成15年度より統一された。一方、3年次の応用物理Ⅰは、微積分を用いた力学に統一されたため、高校課程の物理については学習量が見かけ上減少した。ただし、学科によっては1・2年次の専門科目で実質的に高校課程の物理がおこなわれることが多くなっていたため、一部の学科を除いて増加傾向にあった。残念ながら、この取り組みは学科ごとにばらばらであったので、結果として2年次の学習内容は学科ごとにばらばらとならざるを得なかった。以上を受け、この期間は個別のクラスの進度に合わせて授業を進めるのに追われていた。実験の取扱いはおろそかになっていた面がある。そんななか、電子メディア工学科においては、「工学実験」の中に物理実験の時間を確保し、1年次後期に1単位分の実験を行っていた。他の学科に比べて、実験実施においては先進的であったといえよう。ただし、1年次後期の段階では教科書にもとづく板書による学習が力学の後半に差し掛かったばかりであり、原理学習に先んじる実験にならざるを得なかった。体験学習にとどまっていた感もあり、内容の理解を深めるためには難があった。そのためというわけではないが諸般の事情も手伝って、この「工学実験」における物理実験は短期間で発展的に消滅した。

この時期のもうひとつの特徴として、実験報告書の変更がある。それまでは自由書式で実験報告書を作成することとしていたが、この時期からフォーマットを指定した印刷物を配布してそれに書き込んで実験報告書とするようにした。この変更により、学生は取り組むべき課題をより明確に意識できるようになったようである。採点をする側の教員としても、焦点を絞ら込むことができるようになるという効果もあった。この形式は現在も発展的に継続している。

(5) 第5期(平成19年度～)

平成18年度入学生より、1・2年次が混合クラス化し

た。それに伴い、「物理Ⅰ」「物理Ⅱ」は完全に統合され、全学生に対し計4単位分の実施となった。ただし、そのままでは各学科で独自に取り組んでいた高校課程物理の学習分について、減退の方向となってしまう。そのため、個別の専門科目の中に取り入れていた高校課程の物理の内容を統合し、新たな共通の専門科目という形で1年次に通年で2単位分の「力学基礎」という科目が導入された。このことにより、高校課程の物理としては統一的に6単位分の学習が行われることになった。この体制を受け、応用物理Ⅰ・Ⅱ・Ⅲまで含めた9単位（環境都市工学科）ないし10単位（電子情報工学科および物質工学科）、そして11単位（機械工学科および電子メディア工学科）を見据えた上での物理実験体制が検討された。教育観の違いから議論は分かれたが、最終的な結論として2年次後期に9回の実験を行うこととなった。この原稿が執筆時はまさに実施中である。

なお、平成19年度からは教育研究支援センターが整備され、各実験には技術職員が配置された。その効用は大きく、同一日に多クラスでの実験が実施される場合などは特に円滑に実験を遂行することが可能となった。

実験テーマ一覧を表2に示す。備考に記したように、これらの中で「熱サイクル」「リアクタンス」「回折格子」が新規の実験テーマとして整備された。以下、新規の内容についてのみ順に概要を述べる。

(i) 熱サイクル

熱関係の実験テーマとして従来は「ジュール熱」を実施可能テーマとしていたが、それを置き換えて「熱サイクル」とした。「ジュール熱」においては、一定電流が発生する熱量が一定の割合で続くということを確認する以外には確認内容がほとんどなく、実験操作に乏しかったからである。データ処理もほとんど必要なく、学生にとってはほぼ予想できることを散漫に実行するだけというきらいもあった。そのような状況を受け、実験操作に多少の複雑性を持たせ、データ処理

にも物理的な学習となることを目指したテーマとした。そのような条件を満たすかはにわかに判断し難いものの、本テーマは注射器をピストンと見立てて内部の空気を作業物質として用い、等温・等圧過程を用いた熱サイクルによる仕事を見積もる実験とした。結果として、データ処理のためには一部に積分が必要になるなど、高校課程段階にふさわしいかどうかといった授業開設時期との整合性の問題は生じた。しかし、その分を割り引いても、熱による仕事の概念を体感してもらうには良い実験テーマだと考えている。熱に関する学習は通常極めて抽象的なものにならざるを得ず、実際との対応を実感しにくいものであるからである。それを体感できることの意義は大変大きい。そして、実験で得られた各種の量を使ってエネルギー効率を計算する際には、単位の換算等を通じて物理定数の定義などについての演習を兼ねることもできる。得られた実効効率は理論値と比べると低くなってしまっているものの、仮想的な最大効率の熱機関であるカルノーサイクルの効率よりは明らかに低い効率であることは見てとれる。環境都市工学科を除いて4年次に熱力学を共通専門科目または専門科目で履修するという現状を考えると、将来的には4年次に共通実験科目を設けて開設時期を移動し科目間の連携をはかることができると考えている。

(ii) リアクタンス

現行の物理Ⅰは、そのほとんどが電磁気現象の学習に充てられている。それに対応した実験も充実させるべきだと思われる。しかし、従来整備されていた実施可能テーマは、等電位面の観察および磁束密度の測定であり、変動する電場（磁場）に対応した定量的な実験は行われたことがなかった。平成3年ころに導入されたオシロスコープの活用が以前より検討課題となっていたことも考慮し、交流回路を取り入れることにした。コイルLやコンデンサCを低周波発振器につなぎ、リアクタンスを計測するという極めてオーソドックス

表2 平成19年度の物理実験実施テーマ一覧

テーマ番号	テーマ名	内 容	備 考
1 A	台車の運動	エネルギー保存、運動量保存の確認	従前内容
1 B	リアクタンス	オシロスコープの活用、リアクタンス変化	新規テーマ
2 A	バネ振り子	バネ定数の測定、バネ振り子の振動数測定	従前内容
2 B	熱サイクル	等温・等圧サイクルによる仕事の効率評価	新規テーマ
3 A	磁束密度	電流天秤によるソレノイド内の磁束密度測定	従前内容
3 B	等電位面	導電ガラス上における等電位面の観察	従前内容
4 A	気柱の共鳴	気柱における定在波の存在条件確認	従前内容
4 B	回折格子	CD・DVDによる回折光の観察	新規テーマ
5	光電効果	光電流確認、逆バイアスによる光電流阻止の確認	従前内容

なものである。複素インピーダンスの効果で電流と電圧の位相関係がずれたり、LとCではリアクタンスの電源周波数依存性が逆になったりといった座学での学習内容を実際に確認する内容となっている。

(iii) 回折格子

波動は現行の物理Ⅱの主要部分を占める。従来からある実施可能な実験テーマは「気柱の共鳴」しかなく、定在波の原理はカバーできても回折現象までは対応できないでいた。そんな状況の下、平成18年度より総合ものづくり体験の授業が1年次前期に配置されるようになり、光技術体験と称して光に関する基礎実験を行うことができるようになった。その時間を活用して半導体レーザーのレーザー光を扱うための基本的注意をうながしておいた上で、2年次において回折現象の理解に結びつけることを企画した。本テーマでは、身近なもので回折格子の役目を担えるものとしてCDとDVDを取り上げ、反射光と回折光の違いを確認したり、ドット間隔の見積りなどを行う。これは、近年益々光技術の重要性が高まっていることを考え合わせれば、妥当なテーマ設定であるという見方もできよう。

3. まとめと今後の課題

本稿では、群馬高専の過去20年間程度における物理実験の状況について主に述べてきた。一口に高専と言っても学校によって運営は様々であり、物理実験についてもひと括りにできないところがある。それを端的に示すが、実験体制である。創設当初の状況は不明であるが、群馬高専においては少なくとも過去20年間に自然科学の基礎実験が独立した時間割に現れたことはなく、すべて一般教科の枠内で行われてきた。そのような運用を円滑に遂行するには、授業担当教員間の意思疎通や教育観の統合が必要であろう。しかし、高級技術者に至るために何をもって優先順位を高くならしめるかといった点について、現実には各教員の教育観が激しくぶつかりあうばかりであった。それでも各学科に分かれて授業を行っている際には教員各々が裁量で進めることができたが、1・2年次が混合クラスとなったのを機に、授業内容を統一せざるを得なくなった。その検討過程をここに明記することはしないが、現在の結論としては平成20年度には物理実験回数は4回という計画である。少なくとも有力大学の工学部などでは、基礎実験として物理実験を半期程度行うことは極く通常のことでありと思われるが、本校ではそこまで達しておらず、かなりの縮小となっている。専攻科ではより筆記演習による学習が大勢を占めるなかで、実践にも強い技術者の予備軍である学生の素質を高めることにつながっているのかといった懸念が湧いてくるのを禁じえない。今後、学科・専攻科の計7年間の踏まえた教育体制を検討していく中で、物理実験も

含めた自然科学実験の位置づけを再検討していく時期ではないかと指摘しておきたい。

そんななか、電子メディア工学科4年次および物質工学科4年次を対象として、混合クラスを編成して取り組む科目が平成20年度には新設されることとなった。その中では実体験をもとにした学習を目指し、両学科の対象分野にまたがったような実験を交える予定である。これは小さな試みであるが、今後への大きな一歩かもしれない。工学における素養として様々な技術と、それを支える原理を知るということも大事なことであり、組織的に取り組む機会としてとらえることもできよう。もっと低学年についても増強の必要性はもちろんあるが、高学年においても工学的教養を得る場として、各種基礎実験を整備していくべきでもあろう。

実験室の設備にも問題はあった。平成18年度に総合ものづくり体験が1年次で始まり、2テーマの実験を同一の部屋で並行して実行する必要に迫られた。実験室の両側へ別れて教員が学生へ説明したが、両者の声が干渉してしまい、非常にやりにくい環境であった。その反省を受け、実験実施担当者の間に対策を要望する声が高まり、平成19年度に可動式間仕切りを実験室中央部に設置した。後期より間仕切りを設置した上での実験を開始し、実験室の両空間が程よく分離され、実用上差し支えない程度に音響的分離をすることが可能になった。将来的には暗幕を設置することにより、光学実験への対応を可能にすることなどを検討中である。なお、このような可動間仕切りは平成13年度の校舎改修検討の際、既に素案として存在したものである。一般教科自然科学としては当時の主任である橋本教授を筆頭にその必要性を事務側へ強く説明したが、群馬大学等における従来の工事例では活用頻度が低かったという理由のもとに当時は日の目を見なかった。大学などでは規模が大きいため各部屋の機能を固定して運用することも多いと想像されるが、高専のような小規模学校では各部屋を様々な用途に切り替えて使っていかなければならないところがある。今回設置したような間仕切りを有効活用することによって、多人数と少人数の場合を有効に切り替えての運用が可能となった。実際、平成19年度後期には物理実験以外に生物実験と原子力安全教育が実施されているが、可動間仕切りはその目的に合わせて移動を行っており、活用頻度は高い。

他の関連した課題としては、クラス規模で実施が可能な実験テーマについても、そのテーマリストやマニュアルの整備を行い、技術支援体制との有機的な連携を図っていくことがあげられる。そして、少々複雑な手続きを踏みながらも現象に対する理解を深められるような実験装置も整備していくべきであろう。また学生が実際に操作するテーマばかりでなく、演示機材のリストやマニュアルの整備も課題である。

History and Current Circumstances of Physics Experiment for the Students at Gunma National College of Technology

Mutsuo IGARASHI, Nobuyuki TAIRA

The history of practical exercises on physics for the students in Gunma National College of Technology is reported for the sake to give a reference list for planning a next generation of the education system. All of the years of the college's history, which exceeds more than 40 years, are divided into 5 periods and, in each period, circumstances of experimental education on physics for the aspect of experimental exercise are described with related circumstances on education about physics in the college. Subjects of the experiments are listed too and the contents of each subject are explained briefly to give bird's eye view on the contents of the practical exercises.